

高等学校建筑环境与设备工程专业规划教材

实验技术

Experimental Technique

付海明 张吉光 编著



中国建筑工业出版社

高等学校建筑环境与设备工程专业规划教材

实 验 技 术

Experimental Technique

付海明 张吉光 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

实验技术/付海明, 张吉光编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2007

高等学校建筑环境与设备工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-04971-4

I. 实... II. ①付...②张... III. ①建筑工程-环境实验-高等学校-教材②房屋建筑设备-实验-高等学校-教材 IV. ①TU-023②TU8-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 138413 号

高等学校建筑环境与设备工程专业规划教材

实验技术

Experimental Technique

付海明 张吉光 编著

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17½ 字数: 423 千字

2007 年 1 月第一版 2007 年 1 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 25.00 元

ISBN 978-7-112-04971-4

(10474)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书主要介绍建筑环境与设备工程专业基础及专业课程中的实验测试技术,内容包括三部分。第一部分为实验基本理论,介绍实验研究方法、实验方案的优化设计、实验误差分析与实验数据处理、计算机统计分析软件 SPSS 与科技绘图软件 Origin 在实验数据处理中的应用以及实验常用测量仪表及其使用方法,以便培养学生如何根据所需解决或研究的问题,选择适当的研究方法,合理地设计实验方案,利用实验测量仪表及设备取得实验数据及如何对实验数据进行误差分析、相关分析和回归分析,从大量复杂与枯燥的实验数据中探索客观存在的规律。第二部分为建筑环境与设备工程专业基础课程实验和专业课程实验,较详细地介绍了工程热力学、传热学、热质交换原理与设备、流体输配管网等专业基础课程以及暖通空调、冷热源技术、空气污染控制技术、建筑环境测试技术等专业课程中全部的实验项目,包括实验目的、实验原理、实验装置、实验步骤及实验数据整理方法等内容,以便学生巩固和加深对所学知识的理解和从实践操作中锻炼实验设计、实验数据处理与科学实验报告撰写等工作技能和初步研究问题的意识与能力。第三部分为拓展实验,包括实验设计、探索性实验及模化实验等内容,激励学生自己动手进行实验方案的确定,设计实验装置及实验步骤,解决工程存在的实际问题。本书旨在培养学生的动手能力与分析问题、解决问题的综合能力。

本书可作为高等工程院校建筑环境与设备工程及其相关专业的实验教学用书,也可供从事建筑环境与设备工程及其相关专业的科技人员和研究生参考。

* * *

责任编辑:姚荣华

责任设计:董建平

责任校对:邵鸣军 张虹

前 言

科学技术的不断发展,对建筑环境与设备专业人才的培养提出了更高的要求,要求其具有较高的实践能力和综合设计、研究能力。实验正是培养学生具有这些能力极好的教学环节,它是一项专门的技术,包括实验的选题、确定实验条件、实验设计、实验数据的记录以及实验结果的分析等技术环节,是培养学生科学地分析问题和解决问题的桥梁,是学科建立和发展的重要基础,是解决复杂的实际问题 and 工程问题的一个重要手段。实验课程是理工科专业教学中重要的组成部分,设置实验课程的重要目的在于理论教学环节与实践环节相结合,使学生获得和运用知识,并在此过程中通过对学生独立组织实验和自己动手操作的训练,逐步培养学生科学地组织实验、记录和整理数据及编写实验报告的能力。它不仅是学生获得知识的重要途径,而且对培养学生的自学能力、工作态度、实际工作能力、科学研究能力和创新能力具有十分重要的作用,为此特编写本实验教材。

本实验教材打破每门课程的界限,以实验方法自身的系统为主线设置实验课,教学内容注意培养学生的创造能力和综合设计、研究能力。实验分为基本实验和拓展实验两个层次,包括必修和选修两个部分。选修实验含有一定的实验设计 and 研究量,供学有余力的学生实验。拓展实验属研究型的综合实验,要求学生根据实验题目或专题进行实验设计。学生明确任务后通过查阅资料、确定实验方案、选用实验设备和测试仪器完成实验设计,实验后获取和处理实验数据,并撰写科学实验研究报告。

本教材简单地介绍了实验的理论基础、实验研究方法、实验设计、实验数据误差分析与处理、计算机统计分析及科技绘图软件在实验数据处理中的应用,以及温度、压力、速度和流量测试常用仪表的原理和使用方法等方面的知识,以培养学生进行实验的基本技能。全面详细地介绍了建筑环境与设备工程方面的专业基础课程实验和专业课程实验项目,包括实验目的、实验原理、实验装置、实验步骤及实验数据整理方法等内容,以培养学生从事专业设备操作、测试与调节的基本技能和动手解决工程实际问题的能力。本教材各章均有知识要点及习题、实验后的讨论思考题等内容。本书系统、科学、实用性强,对提高学生的动手能力,培养学生运用所学专业知识和基础知识分析和解决工程实际问题的能力是十分有益的。

本教材的任务是培养学生具有不怕困难、勇于探索创新和实事求是的科学态度;能严格按科学规律从事实验工作,具有遵守实验操作规程的实验者素质;具有能理解、构思、改进实验方案的基本能力;具有能熟练操作仪器设备系统的技能;具有能利用测试设备、仪器进行采集和分析、处理实验数据和实验误差的综合分析能力;注意养成善于观察、分析事物和现象的习惯,并能综合思考的良好学风,训练理性思维,在严谨的科学实验中提高科学实验能力。通过本实验课程的学习和实践,可培养和提高学生的自学能力、科学研

究能力、分析思维能力、实际动手能力、撰写实验报告的表达能力、独立工作能力和团队合作精神。

由于编写时间仓促和编者水平有限，错误和不妥之处在所难免，敬请读者不吝指教，提出宝贵建议。东华大学沈恒根、亢燕铭等教授在本书编写过程中给予很大的支持及帮助，在此向他们表示衷心的感谢。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 实验课程的重要性及任务.....	1
第二节 实验课程教学目的及要求.....	4
第三节 实验基本程序.....	6
第四节 实验报告的撰写方法.....	7
知识要点	10
习题与思考题	11
第二章 实验研究方法与设计	12
第一节 实验研究方法	13
第二节 实验设计概述	21
第三节 单因素优化实验设计	24
第四节 多因素优化实验设计	27
第五节 正交实验设计	28
知识要点	31
习题与思考题	33
第三章 实验数据误差分析及处理	34
第一节 有效数字及其运算规则	34
第二节 实验数据的误差分析	35
第三节 实验数据的整理	45
第四节 实验数据的相关与回归分析	50
第五节 实验数据处理与科技绘图软件	62
知识要点	70
习题与思考题	71
第四章 实验常用测量仪表	72
第一节 温度测量仪表及使用方法	72
第二节 压力测量仪表及使用方法	79
第三节 速度测量仪表及使用方法	84
第四节 流量测量仪表及使用方法.....	103
知识要点.....	106
习题与思考题.....	106
第五章 建筑环境与设备专业基础实验	108
第一节 热电偶制作与标定.....	108
第二节 强迫对流换热实验.....	115

第三节	稳态平板法测定材料导热系数·····	119
第四节	液体导热系数测定·····	124
第五节	固体表面黑度测定·····	126
第六节	二氧化碳气体 P - V - T 关系测定·····	128
第七节	空气定压比热测定·····	134
第八节	饱和蒸汽压力和温度关系实验·····	139
第九节	喷管中气体流动特性实验·····	142
第十节	管道性能曲线测定·····	146
第十一节	泵与风机样本性能曲线及其管网特性曲线对比测定·····	149
第十二节	管网压力分布图测试实验·····	154
第十三节	管网性能调节实验·····	156
第十四节	喷水室性能实验·····	159
第十五节	表冷器性能实验·····	164
第十六节	空气加热器性能实验·····	167
第十七节	换热器性能测试实验·····	170
第十八节	散热器性能测定实验·····	172
第十九节	燃气灶具性能实验·····	174
	知识要点·····	176
	习题与思考题·····	178
第六章	建筑环境与设备专业实验·····	179
第一节	室内环境气象参数测定·····	179
第二节	风管压力流速和流量的测定·····	182
第三节	管网水力工况测试实验·····	186
第四节	煤的工业分析实验·····	189
第五节	烟气分析·····	194
第六节	煤的发热量测定·····	197
第七节	锅炉水循环观测实验·····	205
第八节	单级蒸汽压缩式制冷工作特性实验·····	208
第九节	热水采暖系统实验·····	211
第十节	空调系统运行工况实验·····	213
第十一节	制冷、热泵循环演示实验·····	218
第十二节	旋风除尘器除尘效率测定·····	221
第十三节	静电除尘器性能测定·····	223
第十四节	排风罩性能实验·····	225
第十五节	气流分布测试实验·····	229
第十六节	环境空气中有害物浓度测定·····	231
第十七节	粉尘颗粒真密度测定·····	234
第十八节	过滤材料性能测定·····	237
第十九节	显微镜菌类观测实验·····	243

知识要点·····	247
习题与思考题·····	249
第七章 建筑环境与设备拓展实验 ·····	251
第一节 顺流逆流式换热器综合性能对比实验·····	251
第二节 布袋除尘器工作特性综合测试实验·····	252
第三节 空调及制冷水循环系统综合实验·····	253
第四节 简易测温装置的制作及标定实验·····	254
第五节 燃气燃烧室尾部烟气成分测定装置的设计·····	255
第六节 室内空气污染物的测试与研究·····	256
第七节 高层建筑空调水循环系统模化实验设计与测试·····	256
第八节 非稳态过滤压力损失变化规律的研究·····	257
知识要点·····	258
习题与思考题·····	258
附表 ·····	260
附表 1 实验数据常用回归数学模型及其图形·····	260
附表 2 国际单位制的基本单位·····	262
附表 3 常见相似准则的物理意义·····	263
附表 4 F 分布表·····	263
附表 5 t 分布表·····	266
附表 6 空气相对湿度表·····	269
附表 7 毫米水柱与帕斯卡单位换算表·····	269
参考文献 ·····	270

第一章 绪 论

第一节 实验课程的重要性及任务

一、实验课程的重要性

实验一般指科学实验，即自然科学实验。它是根据一定的目的或要求，运用必要的手段和方法，在人为控制的条件下，模拟自然现象来进行研究、分析，从而认识各种事物的本质和规律。实验是将各种新思想、新设想、新信息转化为新技术、新产品的必要环节。科学发展的历史说明，许多伟大的发现、发明和重大的研究成果都产生于科学实验。据资料表明，诺贝尔奖自 1901 年以来的 91 个奖项中，72% 以上是授予实验项目的。由此可见实验对理论和科学研究的重要性，可以认为它是理论的源泉、科学的基础。

今天由于科学技术的迅速发展，高新技术产品不断问世，高等院校绝大多数的科研成果和高新技术产品都是在实验室里通过实验而研究成功的。科学实验是探索未知、推动科学发展的强大武器，对经济持续发展、提高综合国力和巩固国防具有十分重大的现实意义。

建筑环境与设备工程是国家经济建设的重要产业和重要学科之一。随着科学技术的不断发展，对建筑环境与设备专业人才培养也提出了更高的要求。高等学校工科学生，要求具有较高的实践能力和综合设计能力。实验正是培养学生具有这些能力极好的教学环节。实验课程是理工科专业教学中重要的组成部分，设置实验课程的目的主要是为了使获得和运用知识，并在此过程中掌握实验技能、形成实验能力和科学的自然观。它不仅是学生获得知识的重要途径，而且对培养学生的自学能力、工作态度、实际工作能力、科学研究能力和创新能力具有十分重要的作用，对实现培养学生的知识、能力、素质起着关键的作用。

二、实验课程的任务

建筑环境与设备工程系列课程包括工程热力学、传热学、流体输配管网、热质交换设备与原理、暖通空调、冷热源技术、空气污染控制工程、建筑环境与设备测试技术等主要骨干课程。它们是重要的技术基础课与专业课，这些课程都分别开设 2~3 个实验。但目前实验教学大多存在以下问题：

- (1) 实验侧重于验证书本理论，学生不能从实验中探求未知、研究和开拓。
- (2) 实验方案和实验步骤均由指导书确定，约束了学生创造能力的发挥。
- (3) 实验手段、测试方法和实验数据处理方法落后，不能反映当代实验技术的发展。
- (4) 实验仅作为教学的附属，与课程教学存在脱节现象，学生普遍不重视实验，课程成绩亦不能反映学生的实验能力和水平。

(5) 各门课程的实验相互独立, 没有形成系列课程实验教学体系。

由于上述问题的存在, 就不能调动和发挥学生参加实验的积极性和主动性, 客观上助长了轻实验、重理论的错误观点, 影响了学生个性和创造性的发挥, 降低了实验教学的质量, 失去了实验的意义和应有作用。因此, 实验教学的现状与培养高层次技术人员的要求相差很大, 为了适应知识经济和技术创新的时代要求, 将系列课程的实验进行整合, 独立开设建筑环境与设备工程实验课程是非常必要的, 它有助于调动学生参加实验的积极性和主动性, 培养其动手、研究与创新能力。

本实验课程的任务是培养学生:

- (1) 具有不怕困难、勇于探索创新和实事求是的科学态度。
- (2) 能严格按科学规律从事实验工作, 具有遵守实验操作规程的实验者素质。
- (3) 具有能理解、构思、改进实验方案的基本能力。
- (4) 具有能熟练操作仪器与设备系统的技能。
- (5) 具有能利用测试设备、仪器进行采集和分析、处理实验数据和实验误差的综合分析能力。

(6) 注意养成善于观察、分析事物和现象的习惯, 并能综合思考的良好学风, 训练理性思维, 在严谨的科学实验中提高科学实验能力。

通过本实验课程的学习和实践, 可培养和提高学生的自学能力、科学研究能力、分析思维能力、实际动手能力、撰写实验报告的表达能力、独立工作能力和团队合作精神。

三、实验课程的指导思想

实验课程打破每门课程“各自为政”的界限, 以实验方法自身的系统为主线设置实验课, 成绩单独考核和计分。实验课的教学内容注意培养学生的创造能力和综合设计能力。尽量使实验内容由“验证性”转为“开发性”, “单一性”转为“综合性”, 注意实验内容的创新性, 增加实验内容和选题的自主性, 改进实验指导方法, 尽量发挥教师导学、学生自学的作用。

实验分为基本实验和拓展实验两个层次, 基本实验包括必修和选修两个部分。拓展实验含有一定的实验设计和研究量, 供学有余力的学生实验。本实验教程增加实验内容和选题的柔性 with 开放性, 以发挥学生的个性和创造能力, 鼓励学生充分发挥想像力, 敢于打破“思维定势”的约束, 提出新方案、新方法、新技术。拓展实验属于研究型的综合实验, 要求学生根据实验题目或专题进行实验设计。学生明确任务后通过查阅资料、确定实验方案、选用实验设备和测试仪器完成实验设计, 实验后获取和处理实验数据, 并撰写科技论文格式的实验研究报告。实验课程的实验内容尽力反映学科的发展方向, 通过在实验中引入计算机控制和机电一体化技术等先进的实验设备、实验内容、实验手段及实验数据处理软件, 使学生能掌握较新的科学技术。

在实验课程教学中改革陈旧的实验内容和实验装置是必要的, 但在短时间内对所有的实验装置进行更新是不现实的。因此, 要充分考虑现有的工作条件, 处理好传统实验与综合性实验、创新性实验之间的关系, 充分发挥传统实验的潜能。在实践中通过采取: ①开发更先进的实验装置; ②增加实验设计; ③引进先进的数据采集和数据处理手段, 实现计算机技术在实验上的应用等手段。这样既可充分利用原有实验设备, 又可达到培养学生的

创新能力和综合设计能力的目的。

本实验课程尽量引入较多的创新设计实验内容，允许学生实现自己构思的设计实验方案，进行开放性实验，增加了实验的柔性，让学生在实验中能充分体现自己的构思。

四、实验课程教学的主要内容

本实验教程的主要内容有三部分：

(1) 实验的基本知识，包括实验课程概论、实验研究方法与实验设计、实验数据采集和误差分析与处理、实验常用仪器设备及其使用方法。

(2) 基本实验，分专业基础实验和专业实验两部分。专业基础实验包括工程热力学、传热学、热质交换设备与原理、流体输配管网等课程实验内容；专业实验包括暖通空调、冷热源技术、空气污染控制工程、建筑环境与设备测试技术等课程实验内容。

(3) 拓展实验，包括创新设计实验、实验设计及探索性实验，以供学生选修或作为课外科技活动的研究性课题，目的是通过经典实验分析及训练，掌握科学实验设计及研究的方法，激发学生的学习兴趣，利用所学知识，联系实际地解决工程中存在的问题，提高分析问题及解决问题的能力。

研究性课题含义、实施过程及一般研究方法如图 1-1 所示。

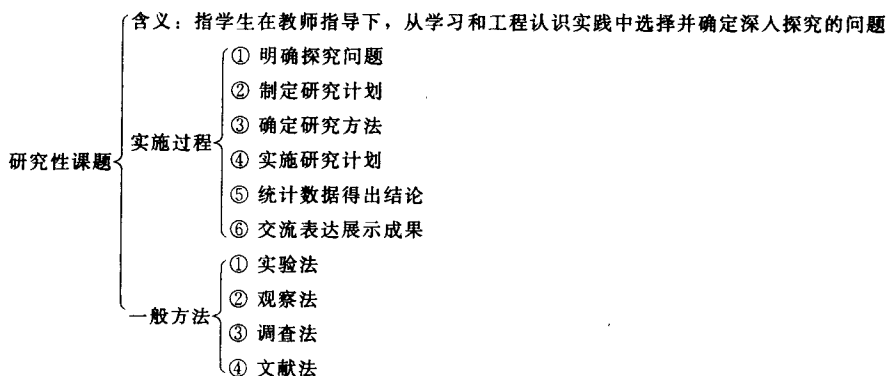


图 1-1 研究性课题

探究性研究的一般步骤如图 1-2 所示。

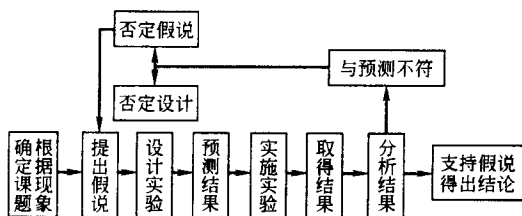


图 1-2 探究性研究的一般步骤

本实验教材的各个实验之间有相对独立性，实验内容按全国高等学校土建类建筑环境与设备工程专业本科教育培养目标和培养方案及主干课程实验教学基本要求，结合实验设备等条件进行设置，不同学校、不同层次要求的学生可根据具体情况选择使用。

第二节 实验课程教学目的及要求

建筑环境与设备工程实验是建筑环境与设备工程专业的一门必修的实践性课程，是学生学会解决工程问题的一个重要手段和方法。通过实验，使学生加深对所学基本理论的理解，并得到充实与提高。

一、教学目的

实验课程是建筑环境与设备工程教学的重要组成部分，是系列课程教学内容和课程体系改革的主要内容之一。实验教学是使学生理论联系实际，以培养学生观察问题、分析问题和解决问题的能力。旨在通过有关基础理论学习、实验设计、实验仪器及器械的使用、实验操作、实验结果记录与分析、实验报告书写以及实验过程中的团结合作，达到如下目的。

(1) 培养学生理论来自实践的科学观点。

(2) 培养学生善思考、敏观察、会动手、准确表达及巧妙创新的能力。使学生了解实验方案的设计，初步掌握本专业的实验研究方法，掌握基本测试技能和技术。

(3) 培养学生对实验研究的兴趣，初步养成对科学工作的严肃态度、严格要求、严密思维、团结合作及实事求是的作风。

(4) 通过实验数据的整理使学生初步掌握数据分析处理的技术，包括如何收集实验数据，如何正确地分析和归纳实验数据，使之不但能运用一些实验成果来验证某些概念理论，而且还可通过一系列设计型的综合应用实验来培养锻炼学生的动手能力和解决实际问题的能力。

(5) 使学生加深对建筑环境及设备工程专业所学基本概念的理解，巩固所学的知识和理论，提高其对所学知识综合运用能力。

学生通过本课程的学习和实验实践，要求掌握下面的基本内容：

(1) 科学实验的作用及其重要意义；

(2) 了解和熟悉实验常用的仪器和装置；

(3) 能熟练使用实验常用的仪器、工具及量具；

(4) 掌握实验的原理、方法、测试技术、数据采集、误差分析与处理等基本理论和基本技能；

(5) 了解及熟悉实验研究、实验设计的方法。

二、教学要求

为了保证实验的质量，顺利完成实验并作出合格的实验报告，故对实验过程中各个步骤提出如下说明和要求。

(一) 实验预习

实验前，学生应认真阅读教材中有关实验的内容及其他相关的参考文献资料，进行实验预习，未预习者不得参加实验。预习主要完成以下工作：

(1) 认真阅读实验指导书，明确所作实验的目的、方法、要求、实验原理和实验内容及实验步骤和注意事项，充分理解所作实验的意义，写出简明的预习提纲。

(2) 根据所作实验的具体任务，研究实验的理论依据和实验的具体做法，分析应该测

取哪些数据，并估计这些数据的变化规律。确定测试项目及测试方法，准备好实验记录表格及计算用具；

(3) 到实验室现场结合实验指导书仔细了解摸索实验流程、主要设备的构造、仪表的安装部位、测量原理和使用方法。根据实验任务和现场勘察，拟定实验方案和操作步骤。

(二) 实验设计

实验设计是实验研究的重要环节，是获得满足要求的实验结果的基本保障。在实验教学中，应反复讲解和训练，使学生确实理解和掌握实验设计方法。

(三) 实验操作

(1) 实验设备启动前必须检查：

- 1) 设备、管道上各个阀门的开、关状态是否符合流程要求；
- 2) 泵等转动的设备，启动前先停车检查能否正常转动，才可启动设备；
- 3) 检查各种仪表是否能正常使用。

(2) 实验操作时应该全神贯注，认真操作和记录实验数据，并观察实验现象，发现问题及时处理或报告实验指导教师。

(3) 实验操作结束时应先将有气源、水源、热源、测试仪表的连通阀门以及电源关闭，然后切断主设备电源，调整各阀门应处的开或关位置状态。

(4) 实验测定、记录和数据整理：

1) 实验测取的数据：凡是影响实验结果或是整理数据时必需的参数都应测取。它包括大气条件、设备有关尺寸、物理性质及操作数据等。凡可以根据某一数据导出或从手册中查得的参数就不必直接测定。

2) 实验数据的读取及记录

(A) 根据实验目的要求，在实验前作好数据记录表格，在表格中应记下各项物理量的名称、表示符号及单位。

(B) 实验时待现象稳定后，方可开始读取数据，条件改变后，也要稳定一定时间后读取数据，以排除因仪表滞后现象而导致读数不准的情况。

(C) 每个数据记录后，应该立即复核，以免读错或写错数据。

(D) 数据记录必须反映仪表的精度。一般要记录到仪表最小分度以下一位数。

(E) 实验中如果出现不正常情况，以及数据有明显误差时，应在备注栏中加以注明。

(5) 实验数据的整理：

1) 原始记录数据只可进行整理，绝不可修改。经判断确系过失误差所造成的不正确数据可以注明后不计入结果。

2) 同一实验点的几个有波动的数据可先取其平均值，然后进行整理。

3) 采用列表法整理数据清晰明了，便于比较。在表格之后应附计算示例，以说明各项之间的关系。

4) 实验结果用列表、绘制曲线、图形或方程式的形式表达。

(四) 实验课应注意事项

(1) 实验课时，学生应注意以下几点：

1) 严格遵守实验室规则，保持安静和良好的课堂秩序，尊重指导教师。

2) 实验分小组进行，小组成员既要有明确分工，又要注意团结合作。这样既可提高

实验的成功率，又能使每个同学都能得到应有的技能训练。

3) 实验过程应按照实验方法和步骤，进行规范和准确的技术操作。

4) 认真、全面和敏锐地观察实验中出现的各种现象；准确、及时、客观地记录结果。在没有获得预期结果时，也应根据实记录。整个实验过程都不得敷衍、马虎和主观臆测。不允许实验后单凭记忆来描述实验结果。

5) 力求了解每个实验步骤和实验结果的意义，实验全过程要积极主动思考以下问题：①实验取得了什么结果？②为什么出现这种结果？③这种结果的意义是什么？④出现非预期结果的原因是什么？

6) 爱护实验器材，各组实验器材不得调换混用，力求保持实验台面的整洁，做到有条不紊。

7) 注意安全，严防触电、火灾等事故发生。

(2) 实验课后，学生应注意以下几点：

1) 按要求关闭实验仪器，清洁仪器表面。清点实验器材并洗净擦干，交还借用的器械。如有仪器、器械损坏或遗失，要立即报告指导老师。

2) 安排值日生搞好实验室清洁卫生，离开实验室前应关好电源、水龙头和门窗。

3) 认真整理、分析实验结果，独立书写实验报告，并按时交给指导教师。

第三节 实验基本程序

实验是根据研究目的，利用科学仪器设备，人为地控制自然现象，在有利的条件下去研究自然现象，探索自然规律。按实验目的可分为验证性实验和探索性实验；按表达方法可分为定性实验和定量实验。验证性实验是通过实验验证某种假设或理论，探索性实验是

通过实验总结出规律；定性实验多用于某项探索的初级阶段，定量实验集中于研究自然事物的数据，求出某些因素之间量的关系。

实验包括实验者、实验手段和实验对象三要素。课程实验的实验者为学生，实验对象是被测试的物体，实验手段包括实验方法和实验设备、仪器等。实验者在充分理解实验要求和原理的基础上，采用各种测试手段按照一定的程序，取得各种实验数据，以及对数据进行处理和分析。

工程实验的基本程序如图 1-3 所示。

工程实验通常可按如下步骤进行：

第一步 提出问题。

根据已经掌握的知识，提出打算验证的基本概念或者探索研究的问题。对于基本实验，学生应按实验指导的提示，明确实验目的，了解所作实验主要是解决什么问题，掌握实验基本原理。

第二步 实验设计。

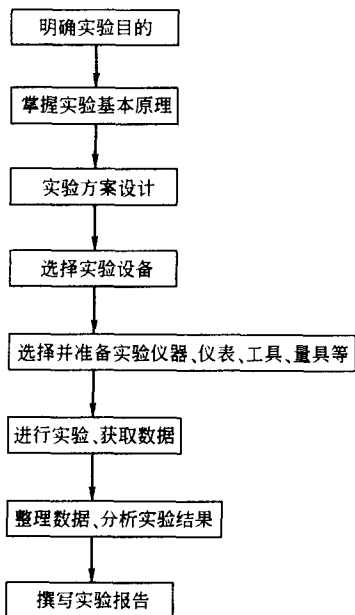


图 1-3 实验基本程序

自己确定实验目标，选择实验设备、装置所需要的各种器材、工具，具体进行实验方案的设计，包括实验目的、步骤、计划、测试项目、测试方法标准等内容。对于基本实验，学生应按实验指导的说明，弄清所作实验的设计方法、实验装置设计、实验步骤等内容。

第三步 实验研究。

根据设计好的实验方案进行实验，收集实验数据，在实验中应如实客观地记录所有实验数据。

第四步 实验数据分析与处理。

实验数据分析与处理是整个实验过程中的一个重要部分，学生应利用已掌握的基本概念分析实验数据，通过数据分析加深对基本概念的理解。实验过程中应随时进行数据整理分析，一方面可以看出实验效果是否能达到预期目的，另一方面又可随时发现问题，修改实验方案，指导下一步实验的进行。整个实验结束后，要对实验数据进行整理制成图表，并进行分析处理，从而确定影响因素的主次与最佳运行条件，建立经验公式，找出事物内在规律等。其内容大致包括实验数据误差分析、实验数据分析整理、实验数据的处理。

第五步 实验报告。

实验报告是对整个实验的全面总结，通过对实验数据的系统分析，对实验结果进行评价，判断实验过程中是否发现新的问题，是否验证了文献中的某些观点，是否可以设计新的设备，是否可以提出新的实验方案。

实验报告要求文字通顺，字迹端正，图表整齐，结果正确，讨论认真。实验报告包括以下组成部分：实验名称，实验目的，实验原理，实验装置，仪表，实验步骤，实验数据及分析处理，实验结果及问题讨论。实验报告的重点是实验数据处理和实验结果讨论。

实验完成后，必须撰写实验报告，但有些学生不重视撰写实验报告，作完实验后只随便应付一下就结束了。实际上实验报告是显示并保存实验成果的依据。通过撰写实验报告可培养学生分析综合、抽象概括、判断推理等思维能力，也可训练学生对语言、文字、曲线、图表、数理计算等方面的表达能力。因此，实验报告是实验教学必不可少的重要组成部分，应充分重视和认真对待。

在这里需要明确的是对于同一实验要求，可以有各种不同的实验原理、实验方法和测试手段。选择实验方法时既要考虑能满足实验要求，也要考虑设备的配备、测量范围、精度、成本等问题，争取用最简单的方法和手段得到最好的实验结果。提倡学生在实验报告讨论中，提出达到同样的实验目的，可采用的其他不同的实验原理、实验方法和测试手段，提出自己的创新的实验设计方案。

第四节 实验报告的撰写方法

实验报告，就是在某项科研活动或专业学习中，实验者把实验的目的、方法、步骤、结果等，用简洁的语言写成书面报告。它是对实验进行全面的总结，是一份技术文件，是对实验结果进行评估的文字材料，是研究成果的重要表现形式，也是课题评价的重要依据。实验报告必须在科学实验的基础上进行，它是成功的或失败的实验结果的记载，它有利于不断积累研究资料，总结研究成果，提高实验者的观察能力，分析问题和解决问题的

能力，培养理论联系实际的学风和实事求是的科学态度。

撰写实验报告，是课题研究工作的最后环节。撰写实验报告必须简明、数据完整、结论明确，有讨论、有分析，得出的公式或图形有明确的使用条件。撰写实验报告的能力也需要经过严格训练，其目的是训练表达及综合分析能力，为今后写好研究报告和科学论文打下基础。

一、实验报告撰写的原则

实验报告应该完全根据自己的实验历程撰写，除小部分可引用他人的文献之外，都必须是实实在在的实验结果与过程的记录。实验报告的长短与成绩不一定成正比，实在而有创见的一句话，比千百行空话更有价值。每位学生实验结束后，应独立撰写自己的实验报告，自觉培养及提高自身的学术实验报告写作能力，严禁抄袭他人的实验结果和实验报告。实验数据处理曲线应采用坐标纸绘制或采用电脑绘制，并应在曲线中标清实验数据点。实验报告应尽可能使用数据处理软件处理及分析实验数据，使用电脑文本处理软件撰写实验报告。

二、实验报告的结构及写作要求

实验报告并不强调固定和统一的格式，只要写得合理、正确、一致，均为好的实验报告，事实上只要随手翻开一本科学期刊，参考其论文的格式，用心来写实验报告，就可以有相当好的成果。实验报告应全面完整且简单明了地阐述实验进行的情况。

完整的实验报告应包括以下几项内容：题目、引言、实验过程与方法、实验结果、讨论、结论、参考文献及附录。

（一）题目

实验报告的标题，应点明研究课题的性质，使读者容易了解研究课题的内容。标题必须包含两个明确的信息：研究对象和研究问题。

（二）引言

对实验报告的内容起提纲挈领的作用。一般先简明扼要地交代研究课题的目的意义，国内外研究的现状和发展趋势，研究的内容、范围、方法、成果等。通过研究现状的叙述来说明自己是受什么启发、根据什么来提出这一实验课题的研究的，重点说明实验要解决以及通过何种途径获得解决的主要问题，建立假设的理论依据。

对于实验课程实验报告而言，此内容主要为课程实验目的。实验目的应简单描述实验的动机与目标，应尽量用自己的话写出来，不要直接抄袭实验指导书的内容。实验目的的书写应简单、明确，突出重点，可以从理论和实践两个方面考虑。在理论上，验证定理定律，并使实验者获得深刻和系统的理解；在实践上，掌握使用仪器或器材的技能技巧。

（三）实验过程与方法

此部分主要介绍实验过程与方法，它是实验报告极其重要的内容。内容包括实验的方法、实验用的仪器和材料、实验的步骤，读者由此可以明确实验的组织实施、实验的基本操作方法。

对于课程实验报告而言，此部分要写明依据何种原理、定律或操作方法进行实验，要写明经过哪几个步骤。还应该画出实验装置的结构示意图，再配以相应的文字说明，这样既可以节省许多文字说明，又能使实验报告简明扼要、清楚明白。此部分应写出自己的实验步骤，应完全记录下所操作的流程与条件，而并非是实验指导书中所载的内容。